

國立台灣大學社會科學院經濟學系

碩士論文

Department of Economics  
College of Social Sciences  
National Taiwan University  
Master Thesis



研究生: 葉心恬

Yeh, Hsin-Tien

指導教授: 朱敬一 博士

Adivisor: C. Y. Cyrus Chu, Ph.D.

中華民國97年7月

July, 2008

## 誌謝

能完成這本論文，特別感謝朱敬一老師一年來的指導。老師敏銳的經濟直觀總在我面對不如預期的結果時給我信心和靈感，並在做研究的過程中不斷引導我如何問出有趣的問題，而老師的嚴謹認真也讓原本散漫隨性的我重新反省自己的研究態度。感謝您特地給我這個機會跟您一起完成這個研究，感謝您沒有因為我緩慢的進度和不適當的應對而放棄我。儘管過程中常因沒能如期完成老師的要求而充滿壓力，有時不免對自己失去信心，卻深切覺得自己是何其有幸能在短短的一年之中從老師身上學到這麼多，無論是做研究的方法、技巧，及態度。

同時也感謝其他三位口試委員們犧牲與家人相處的夜晚時光替我完成口試。感謝古慧雯老師在口試時給予我的各種建議，也感謝賴景昌老師不辭辛勞地仔細閱讀我的論文並逐頁修改。

感謝毛慶生老師不厭其煩地回答我關於模擬的各種問題，及多年來對我的關懷與幫助。每當面臨與挫折與困難，只要想到您總會以無比的耐心和熱誠與我一同面對，便覺得沒有什麼不能完成的了。

感謝龍禹犧牲應有的玩樂替我解模型與潤稿，與我討論各種細節。感謝振宇在緊要關頭幫我修改龐大而無效率的程式碼，大幅縮短了模擬的時間。面對我晝夜晨昏頻繁而不定時的煩擾，你們還沒使出來電警衛及 MSN 封鎖加刪除對付我，窩心的程度絕不是全國電子廣告詞可以比擬的。

感謝我的「精鹽」同胞們：晨儀、子霆、欣華、美瑩、Uniko、奕文、熙文、奕璵、秉庚健倫、延林、慕恩、宏成、依伶、奕翔、致遠、Ryan。我會永遠記得每逢大考的披撒炸雞讀書會、應該很溫馨卻以瘋狂七級豬收場的冬至湯圓會、獎品總讓人不想胡的室長盃麻將賽、澎湖的風浪與南台灣的豔陽天。與你們共度的時光都是最美的回憶。

最後，感謝明哲與我的家人陪著我一路走來，包容我的任性與壞脾氣，不論我的選擇為何都尊重且支持我。你們是我最溫柔而堅強的後盾，讓我毫無憂懼的往前走，謝謝你們。

葉心恬

2008. 07.

## 摘要

本文試圖對至今熱烈討論卻仍未形成共識的永續發展議題提供新的觀點。1987年聯合國「世界環境與發展委員會」對永續發展的定義為「符合當代需要的發展，但不損及未來世代追求滿足其本身需要的能力」。我們認為經濟發展可能無法永續的主要原因在於：環境資源理應為所有世代的人類所共享，然而現存世代的人在決定資源配置時並未賦予未來世代決策權，從而導致環境資源的過度利用。我們援引家庭經濟學的觀點，以森林資源為例，假設子女有權參與父母對環境資源的運用。如此環境資源的使用便能同時符合當代與未來世代的福祉。我們將證明在此架構下，恆定狀態確實存在，並且透過模擬的方式體現賦予未來世代決策權將使原本僅由當代人決定下無法永續的經濟體自然達到永續發展的目標，且當人們日益重視環境品質或對子女的利他動機更為強烈時，跨代決策更能達到提昇均衡福利的效果。

**關鍵字：**永續發展；綠色國民所得帳；跨代決策



# 目錄

<b>1</b>	<b>前言</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>文獻回顧</b>	<b>4</b>
2.1	永續發展意涵	4
2.2	弱永續發展與強永續發展	5
2.3	永續發展的經濟模型	6
2.4	環境資源折耗之估計方法	8
<b>3</b>	<b>模型設定</b>	<b>11</b>
3.1	引入環境資源之簡單跨代模型	11
3.2	綠色稅率之估計	13
3.3	李嘉圖等值論與不肖子理論	15
3.4	無知之幕後的最適森林價格	16
3.5	跨代決策的動態過程	20
3.5.1	簡單兩期模型	21
3.5.2	無窮期跨代模型	21
<b>4</b>	<b>模擬結果</b>	<b>25</b>
4.1	無知之幕後的最適森林價格	25
4.2	跨代決策的長期均衡	29
<b>5</b>	<b>結語</b>	<b>34</b>
	參考文獻	35

## 圖目錄

2.1	Jabareen所提永續發展的理論架構 . . . . .	5
4.1	$\alpha = 0.6$ 下的均衡福利 . . . . .	31
4.2	$\alpha = 0.7$ 下的均衡福利 . . . . .	31
4.3	$\beta = 0.9$ 下的均衡福利 . . . . .	32
4.4	$\alpha = 0.6$ 時跨代決策的均衡福利 . . . . .	32
4.5	$\beta = 0.9$ 時跨代決策的均衡福利 . . . . .	33



## 表目錄

4.1 無知之幕後的最適價格與未引入森林價格之比較 . . . . .	27
4.2 跨代決策的長期均衡 . . . . .	29



# 第 1 章

## 前言

近半世紀以來，高速經濟成長伴隨溫室氣體、水質汙染、多種天然資源耗竭等環境惡化問題，進而對未來世代的福利發展產生不利的影響。有鑑於此，世界各國均積極尋求能兼顧環境生態與經濟福祉的發展模式，謂之「永續發展」，使當代追求福利極大的同時不致「以子孫為壑」。永續發展涵蓋的層面甚廣，除了生態平衡與經濟發展外，還包括社會學、倫理學等其他相關領域。由於各領域對永續發展之詮釋與著力點各有不同，使該議題縱然歷經學界多年討論仍是眾說紛紜。例如 1987 年聯合國「世界環境與發展委員會」( World Commission on Environment and Development of Brundtland Commission) 對永續發展的定義為：「符合當代需要的發展，但不損及未來世代追求滿足其本身需要的能力。」(development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs) 此外 1991 年 INVU、UNEP 及 WWF 所出版之關心我們的地球 (Caring Our Earth)，則將永續發展定義為「在不超出維持生態系統涵容能力之情形下，改善人類生活的品質」。前者認為永續發展的核心在於跨代資源分配，而後者則認為永續發展是在環境負載力的限制下，追求經濟福祉的提升。此外，尚有諸多對永續發展之不同詮釋，不勝枚舉。

由經濟學的觀點言之，永續發展無疑是一個經濟成長的問題。其與傳統最主要的不同處在於，過去當經濟學家試圖回答如何提升均衡福利水準的同時，並未將經濟活動隱含的成本納入考量。或者說，過去的經濟成長模型僅考慮各項人為資本的限制條件，例如實質資本、人力資本、研發成本等等。另一方面，經濟學家也注意到傳統成長模型選用的社會福利函數均有「貴近賤遠」的性質，意即對未來的效用給予較低的權數，而這項模型設定的特質顯然與永續發展的

精神大相逕庭。而另一個更根本的問題是：一個經濟體系的發展過程須具備何種特質才可被稱之為「永續發展」？從字面上來看，「永續」意味著「不隨時間經過而消滅」。但是什麼東西需要在經濟發展的過程中被永續則沒有定論。對生態學家而言，可能是「環境資源」之存量須不隨時間而遞減。而對許多經濟學家而言，可能更重視「消費」或「福利」的永續。但無論如何，這些新的考量都不致使社會規畫者 (social planner) 求算最適成長路徑的架構受到挑戰。換言之，在福利函數及資源移動律上引入新的限制僅是一個模型修正的問題。倘若我們抱持這樣的想法來看待永續發展，則只要我們將以往疏漏的部分納入考量，例如加入新的環境限制及重新定義跨期效用函數，便能依循傳統社會規劃的做法重新得到在考慮環境資源限制下的最適發展路徑，使經濟體在符合某種主觀認定的判準下產生最高的長期均衡福利。因此我們可以看到在大多數經濟學的相關文獻中仍是以傳統經濟成長的架構為基礎，將焦點放在社會福利函數與資源限制的設定。

有別於上述的想法，我們試圖由另一種觀點來思考永續發展的問題：當代人與未來世代的人共享同一個地球就如同夫與妻共享一個家庭資源一樣：而由當代人全權決定天然資源的使用亦如傳統父權觀念下由家戶長一人全權決定家庭資源的配置。在家庭經濟學的討論中，許多學者為避免以父權的角度思考夫妻之間資源配置的問題，提出了將夫與妻視為獨立個體的談判模型，以取代極大化家戶長效用函數求解最適分配的做法。由家庭經濟學的靈感，我們認為永續發展並不適合以傳統社會規劃的架構來解決，因為不論模型如何修改，終究是以「當代人」的眼光在進行跨代資源的規畫，而其所謂的「最適」也僅是當代人一廂情願的想法。既然永續發展的基本精神在於保障未來世代使用天然資源追求自身福祉的權利，且其之所以成為問題即在於未來世代在今日尚未出現，故沒有一個既存的市場來決定今日對環境質與量的損害應付出多少「價格」，則欲解決此問題直接而根本的做法應是設法建構出一套機制，使未來世代能在「今日」發揮其應有的角色。是故本文的重點在於將未來世代從附屬於當代人的效用函數中獨立出來，將我們的子女視為與我們平權的獨立個體，針對如何使用我們共同擁有的地球發表意見，透過跨代間的互動決定出對彼此而言皆為最適的跨代資源分配。如此才能真正估算當代人使用環境資源對未來世代造成的福利損失。透過跨代決策機制的建立，我們便能正確估計出當代使用天



## 第 1 章 前言

然資源對未來世代造成的福利損失，而此即為綠色國民所得帳所欲揭露的環境資源之經濟折耗。故本文除了提出解決永續發展問題的談判機制外，亦藉由該機制得出一更直接且有效衡量綠色國民所得淨額的方法。



## 第 2 章

### 文獻回顧

#### 2.1 永續發展意涵

永續發展的意涵隨不同領域及不同時點而有不同，使得這個詞彙縱使日益耳熟能詳卻仍究相當模糊。Desta Mebratu(1998) 將直至 20 世紀為止，各領域對永續 (sustainability) 及永續發展 (sustainable development) 的概念演進做了詳盡的歷史回顧。人們對永續發展的認知大抵根源於宗教或倫理的信念。東西各國的宗教與傳統都教導我們在主宰萬物的同時莫忘維持與天地的和諧。而十八世紀後期，馬爾薩斯在《人口論》提出經濟活動受自然環境得負載力的限制而有其極限，可謂最早預見環境資源將對經濟發展造成威脅的經濟學家。在政治學方面，托爾斯泰等對政府或組織規模的擴大採懷疑態度的政治思想家也普遍存在反對人類活動過度干預自然生態的理念。1972 年聯合國在斯德哥爾摩針對世界環境問題召開會議，環境與經濟的兩難正式浮出檯面成為國際議題。至 1987 年 WCED 發表「我們的共同未來 (Our Common Future)」宣言，明確指出「永續發展」為人類應共同追求的目標，並將其定義為「符合當代需要的發展，但不損及未來世代追求滿足其本身需要的能力。」其後由於該定義過於模糊，對於何採取種型式的發展才符合永續的精神語焉不詳，導致各界對該定義各自表述，使永續發展的概念更形模糊而令人困惑。Mebratu 在對各家解釋詳加檢視後指出：大多數的解讀都受其本身所屬團體的利益或信念影響過深，以致失去了應有的宏觀性。

有鑑於此，Jabareen(2006) 對各領域多元分歧的見解予以歸納統整，使永續發展的概念能整合在一有系統的理論架構之下。他認為永續發展大抵由七種不同的概念共同組成，包括：永續與發展的矛盾 (Ethical Paradox)、天然資

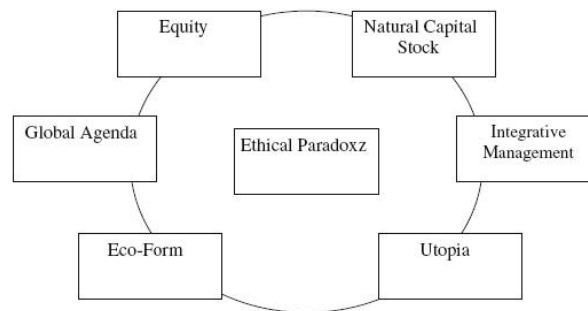


圖 2.1: Jabareen所提永續發展的理論架構

源存量的保育 (Natural Capital Stock)、跨代與同代間的平等 (Equity)、考量生態的空間運用 (Eco-Form)、整合性管理 (integrative management)、跨國政治協商 (global agenda) 及對理想世界的追求 (Utopia)。圖 2.1 表示這七大概念間的關係：永續與發展的矛盾關係為該議題的核心。人類渴望社會經濟不斷進步、所得與日俱增以使生活更為幸福，同時亦希望人類所屬的生態環境不隨時日消逝，以持續提供社經發展所需的資源及資源本身存在所帶來的福祉。「永續」指涉生態環境不變而穩定狀態，而「發展」則代表社會經濟福祉的不斷成長。然而目前的科技條件尚無法使人類的經濟活動在不折損自然資源的情況下進行，使這兩種理想存在無可避免的互斥關係，是以開展出多元的詮釋與執行方式。本文對永續發展的詮釋係屬於跨代之間的平等，並特別著重於未來世代在當代扮演的角色。

## 2.2 弱永續發展與強永續發展

永續發展指涉的是何種變數的永續大抵分為兩種不同的見解：「弱」永續發展與「強」永續發展。此兩者最重要的不同處在於其對人為資本與自然資本的假設。

一部分學者認為天然資源有其不可替代性。有些天然資源是無論多少人為資本都無法取代其作用，如森林對生態調節的作用等。因此天然資源的減少將必然使經濟活動受到限制，即使在今天感受不到也將在未來實現，只是遲早的問題。故他們主張「強」永續發展，亦即天然資源之質與量在經濟發展過程中都必須維持不變 (remain intact)。Daly(1992) 指出由於未來的不確定性過高，且我們目前尚無法估計究竟需要維持多少自然資源才得以使未來世代持續

發展，因此永續發展的最小必要條件應為「維持自然資源存量（包含品質）不低於現狀」。是故要維持永續發展須符合兩項條件：(1) 資源開採率不得高於其再生率及 (2) 對環境的質損率不得超過生態自動復原的忍受度。

然而另一群學者認為上述的定義對永續發展的意涵太過簡化，使其變成單純的環境保育問題而幾乎與經濟活動脫勾。主張弱永續發展的學者認為人為資本與自然資本有其替代性，例如洞穴做為房子的用途可被鋼筋混凝土取代。故自然資本的減少在某種限度內可用人為資本的增加來彌補，使得福利或所得等流量得以維持某一固定水準直到千秋萬世。換言之，強永續發展要求「存量」的不減少，而弱永續發展將永續的概念定義在「流量」的維持。大多數的經濟學文獻都採此看法。Victor(1991) 認為永續發展的意涵應為經濟與環境互動，故若認為永續發展僅是維持自然資本存量則喪失了環境與經濟的連結性。Pearce and Atkinson(1993) 依循他的觀點，提出永續發展的弱指標，認為只要經濟體發展的過程中能維持「總資本（自然資本加上人為資本）不遞減」便符合永續發展的弱定義。因此只要儲蓄率高於人為資本與自然資本的折舊率之和，即可達到永續發展的目的。抱持相似看法的還有 E1 Serafy(1996)，他亦主張永續發展不純粹是對環境或生態的維持，而是經濟福祉與生態保育的權衡。因此永續發展應定義在維持可使「所得」永續的資本存量，但並不表示每一種形式的資本存樣都須維持不變。例如將天然資源開採的所得用於投資以使未來不致減少亦符合永續發展的原則。

### 2.3 永續發展的經濟模型

在經濟學的對此議題的討論中，大多數的經濟學者都採上述「弱」永續發展的定義，將焦點投注於社會福利的永續，而將這個條件加入最適成長模型即可解出為使經濟體符合永續發展所應採取的成長路徑。然而經濟學者們對於如何設定最適規畫的社會福利函數方能真正符合永續發展的精神亦存在不同的看法，Heal(2005) 對此做了詳細得討論。傳統成長模型的目標函數為無限期效用之折現加總，但這種將未來世代之福利打折的做法違背了永續發展重視未來世代的精神。然而倘若我們將折現率令為零，則雖然可以滿足世代間公平性的要求，但由於每一其效用皆大於零而使目標函數趨近無限大，模型無法求解。

為了同時避免目標函數不收斂的問題又能將現在與未來等而視之，經濟學

家提出了其他比較福利大小的方式。例如 von Weizäcker(1967) 提出的「overtaking」判準是以有限部分和取代無限加總。他認為成長路徑 1 較路徑 2 來的好假若存在一時點  $T^*$  使得下列條件成立： $\int_0^T u(c_t^1)dt \geq \int_0^T u(c_t^2)dt$ , 對任一時點  $T$  在  $T^*$  之後。

另一種做法是重複賽局常用的極限報酬 (limiting payoff)(Heal, 1998), 亦即衡量一成長路徑的優劣並非依據其各其福利之折現加總, 而是依其「長期平均福利水準」的高低。如下:

$$\lim_{m,n \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{n} \sum_m^{m+n} u(c_t) \right]$$

其中  $m, n$  表某一時點, 一般認為關注長期福利水準的高低較貼近永續發展的概念。Chichilnisky(1993) 提出一權衡無限期折現加總與極限報酬的做法:

$$\max \left\{ \alpha \int_0^{\infty} u(c_t) \Delta(t) dt + (1 - \alpha) \lim_{t \rightarrow \infty} u(c_t) \right\}$$

其中  $\Delta(t)$  表對時間的折現方式, 如  $e^{-\rho t}$  等。式中第一項可視為當代人的福利水準, 而第二項則反映永續的福利水準。因此 Chichilnisky 建議的判準即為前述兩種概念的折衷。

另一種在永續發展文獻上常被提及的判準為 Rawls 在正議論中所主張之極大化最不幸者的「Maximin」原則。Rawls 認為人的價值判準受其所屬社經狀態的既得利益影響至深, 難以超然客觀。故要思考什麼是對所有人最好的之前, 人們必須回到自己降生之前, 或稱之為「無知之幕」後, 由事前的角度來思考問題。他認為由於極度風險趨避的特性, 人們會選擇一個最淒慘的狀況也不至於太差的社會降生, 而不是一般認為的期望值最高的地方。故在這個判準下並無對現在或未來的偏好, 只有對「最慘世代」的偏好。這個判準將設法使最慘的世代過得最好, 不管是哪個世代。本文對永續發展的見解亦採用 Rawls 無知之幕的概念, 但並未採用 Maximin 的原則。

Heal 對於部分經濟學者將福利的永續定義為「不隨時間遞減」表示不能贊同。他認為若我們依循這樣的定義做最適成長路徑的規畫, 則所有效用主義形式的目標函數都無法給我們滿意的建議。例如若資源不可再生, 則要維持福利不變的唯一做法便是永遠不得開採。若資源可再生, 則福利是否永續的關鍵僅在於初始資源存量的大小。只要初始資源存量小於恆定資源存量, 任何一種符

合效用主義的最適成長路徑皆可滿足此判準；而倘若初始資源存量較高，則任何一種成長路徑都不可能滿足。<sup>1</sup> 這樣的結果顯然無法提供太多值得參考的政策意涵。

Beltratti、Chichilnisky 及 Heal(1995) 採用極限報酬的概念，針對可再生資源提出「綠色黃金法則 (the Green Golden Rule)」。他們認為永續發展應為極大化經濟體系的長期福利水準，而福利的永續須建立在消費量及資源存量的永續上。因此資源的開採率須等於資源的再生成長率，以維持資源存量不變。最適的資源配置為符合上述條件的所有配置中使社會福利最高的點，滿足此兩項原則的資源配置即為綠色黃金法則。依據該法則可解出最適的資源使用量及對應的資源存量，使經濟體系達到最高的可永續的社會福利水準。

## 2.4 環境資源折耗之估計方法

折耗的概念可區分為實質折耗與經濟折耗：實質折耗指的是資本提供實物與服務的能力降低，而經濟折耗則指涉資本所能提供之「價值」的降低。其差別在於經濟折耗為價格與數量的乘積，而實物折耗只考慮數量的變動。根據 Hicks 的看法，「實務上計算所得的目的在於給予一個人們消費能力指標，此指標是指不會使得他們變得比現在貧窮的消費能力。」(The purpose of income calculations in practical affairs is to give people an indication of the amount which they can consume without impoverishing themselves.)( Hicks, 1946, p.172)。這種以使未來消費得以持續為條件衡量所得的概念與十分符合弱永續發展的概念。將此對所得的概念運用到國民所得帳的估計即為國民所得淨額 (NNP)，亦即國民生產毛額扣除折耗。而若我們將環境資源的折耗亦列入考量，即為綠色國民所得淨額。由於經濟折耗考量的是資本所能創造之價值的減損，亦即資本可持續提供「消費能力」的減損，因此較符合 Hicks 對所得的看法。資本的價格不僅是某一時點所能產生的價值，尚包括其在未來所能提供的價值。理論上我們須對未來的經濟變數做些許假設方能計算，實務上則以資本市場的價格加以對折舊型態的假設來估計。然而由於天然資源不存在一個市場以反映其價格，故只能透過人們對天然資源價值仍十分有限的了解及各種

<sup>1</sup>若起始條件較低，則其最適路徑必然是資源存量隨時間而增加，反之則隨時間而減少，如此方能使經濟體系逐步收斂至恆定狀態。

對未來的猜想來「估計」其影子價格。對於環境資源的影子價格該如何估計學者提出諸多不同的方法。

淨現值法主要用於非再生可耗竭資源的折耗估計，並為聯合國與世界銀行共同推行的「環境經濟綜和整合系統 (SEEA)」所採用。對於可再生資源的估計目則為將資源成長的特性引入，將現值的公式加以調整。SEEA 為目前最主要的綠色國民所得編制系統，台灣亦採用此系統做為編算依據。

如上所述，資本的價格為其當期與未來各期所能提供價值的加總。故我們可將天然資源的價格視為其未來各期報酬的折現加總，即現值的概念。令每單位資本每期所能提供的報酬為  $R_t$ 、市場利率  $r_t$ 、資源使用壽命  $T$ ，則每單位資源在第  $n$  期的價格可表示為

$$PV_t = \sum_{t=n}^T \frac{R_t}{(1+r)^{t-n}}$$

淨現值法計算兩年間資本「當期價格」之差 ( $PV_{n+1} - PV_n$ ) 做為經濟折耗。由上式可知，以淨現值法估計經濟折耗必須知道未來每期的資源報酬、市場利率及使用年限，因此其估計在實務上相當困難。為簡化折耗的估計，不同學者主張對淨現值法加入不同的假設，例如 Repetto(1989) 提出的淨租法 (Net rent approach)，用於不可再生資源。他假設不可再生資源有其市場，且為完全競爭，故市場均衡時資本報酬應以市場利率成長。此外他將第一年與第二年資本價值均折現回第一年再相減，兩者之差即為第一年的經濟折耗。將上述條件帶入現值公式計算可得出期初報酬即為不可再生資源的經濟折耗。此法由於完全不須用到天然資源的未來變數亦能計算，在實務上相當方便簡單。但由於在計算國民所得時天然資源的折耗與天然資源的利得正好抵銷，使天然資源等同不存在，亦見不到其對福利的貢獻，令人相當困惑。另外 El Serafy(1989) 亦在淨現值法的概念下提出使用者成本法。他認為為維持永續發展，我們必須在耗竭性資源有限的開採過程中將資源的毛所得用於投資，以維持未來所得的不變。若令開採資源帶來的利潤為毛所得，而得以持續的所得為真實所得，則經濟折耗即為毛所得扣除真實所得之差。在資源每年開採水準不變且每單位利得不變的假設下，經濟折耗即為

$$\frac{R}{(1+r)^T}$$

，其中  $R$  為每單位每年毛所得， $r$  為市場利率而  $T$  為資源使用年限。他將上式稱為折耗因子，亦稱為使用者成本。由於此法所估之折耗完全取決於對資源使用年限、開採所得及市場利率的假設，因而 Dasgupta, Kristorm and Maler(1995) 批評其參數選取過於任意。

另外 ENARP 編制系統主要用於討論森林等可再生資源的折耗估計。該系統將自然資源視為生產部門，試圖估計自然資源的「非市場」價值。有別於淨現值法，該方法以虛擬市場的方式透過消費者偏好來估算環境資源減損所需要的補償。其進行方式是透過問卷調查的方式，使受訪者假想存在一個環境資源的市場，在給定相關假設的情況下消費者願意付出多少價格。由於此法所估出的價格將隨問卷提供的假設訊息不同而改變，故稱為「條件估價法」。由於問卷調查本身即存在各種可能的偏誤，故條件估價法的準確度亦令人質疑。

此外尚有其他綠色國民所得帳的編制系統，唯大多發展尚未成熟且較少國家採用，故不再贅述。





## 第 3 章

### 模型設定

本文的理論模型，將以簡單的跨代模型為基礎，在偏好及資源限制中引入自然資源的角色，隨後再考慮自然資源的使用成本，亦即估計編制綠色國民所得的過程中應自傳統國民所得中扣除的調整項，最後在賦予子女在自然資源使用的決策權，探討由當代擅自決定與跨代談判決定自然資源配置的均衡有何異同。

#### 3.1 引入環境資源之簡單跨代模型

考慮一簡單的跨代模型，假設一期為一個世代，且每個世代皆關心後代子孫的福利水準，唯對於越遠世代的關心程度越低。我們將環境資源在福利水準及生產上扮演的角色考慮進來，則效用函數應修改為：

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(C_t, Z_t - R_t), \quad (2)$$

其中 $u$ 為每世代皆相同的效用函數， $C_t$ 為每一世代的消費量，而 $\beta$ 則為時間折現因子。 $Z_t$ 為期初環境資源（本文以森林為例）存量， $R_t$ 為當期森林砍伐量，故 $(Z_t - R_t)$ 為當期森林的淨存量。在此設定下，福利水準除了受消費量影響，還取決於當期有多少森林資源可供觀賞遊憩。此外，林木資源亦是重要的生產原料，故我們將資源限制式設定為：

$$C_t + I_t = f(K_t, R_t), \quad K_{t+1} = K_t(1 - \delta) + I_t, \quad K_0 \text{ given}, \quad (3)$$

其中 $f$ 為生產函數， $K_t$ 為期初資本存量， $\delta$ 則為資本折舊率。此外，森林為可再生資源，我們假設其成長率為 $g$ ，則森林資本移動律為：

$$Z_{t+1} = (Z_t - R_t)(1 + g). \quad (4)$$

在考量 (3)、(4) 式的限制下極大化式 (2) 即決定了最適的資源配置。由於此處選用的福利函數是當代人的效用函數，故此處的「最適」僅只是當代人一廂情願的想法。如前所述，永續發展的精神在於在對未來世代福祉的關心。因此儘管當代人確實關心後代子孫的福利，其關心程度卻取決於時間偏好因子的大小。且只要 $\beta$ 嚴格小於一，則遙遠世代的福利在當代人的眼中就必然顯得無足輕重。因此這樣的設定在文獻上遭受許多批評，認為在社會福利函數中對未來世代福祉「折現」的做法和永續發展的精神大相逕庭 (Heal, 2005)。因此，在探討永續發展文獻上常用的社會福利函數形式如下：

$$W(u(C_1, Z_1 - R_1), \dots, u(C_t, Z_t - R_t), \dots)$$

使用該架構的學者認為：為符合永續發展的精神，在規劃跨期資源配置時，不但應將所有世代的效用皆納入目標函數，且該目標函數應以符合永續價值的眼光來看待各代的福利水準。而使用什麼樣的「眼光」就反映在對 $W$ 函數性質的設定。在此設定下，不同的學者們對於怎樣的眼光才符合永續精神的看法各異，並建立不同的判準來規範 $W$ 的形式，如 2.3 節所述。然而，縱使我們可以找到一個普遍為大家接受考量永續發展所設計的 $W$ 函數的形式，我們仍不認為這是一個符合永續精神的做法。其理由在於這種設定和 (2) 式在本質上是相同的，其差別只是對待未來世代福利的權數不同而已，終究是完全以當代人為出發點的福利函數。因此我們不認為改變福利函數的形式就能稱之為符合永續發展的精神，唯有真正把未來世代當做獨立的經濟主體來看待，而非附屬在當代人的眼光下，才算是以尊重未來世代福利為出發點來決定當代資源配置的永續經濟發展。

為幫助讀者對我們的想法有更清楚的理解，我們可用家庭資源配置的討論來做類比：假設一家人的所有資源都由一個「大家長」來分配，其他人沒有置喙的餘地，則所有人皆同意這是一個「獨裁」的持家方法，因為這一家人的效用水準完全由大家長所決定，而大家長認為的最適資源配置不必然對其他成員為最適，因此遭受街坊鄰居的批評。從此大家長決定做一個「明君」，於是他便改變他的福利函數，重新設想一個「關心家人」的家庭福利函數，把每個子女的效用函數都納進來，並給予適當的權數。他認為只要是極大化這個目標函數所得出的最適解便是對其他家庭成員最好的選擇。但事實真是如此嗎？如果我

們能設身處地的假想自己是這個家的一員，可能是家長的妻子或子女，我們會對此感到滿意嗎？也許我們能同意和街坊鄰居討論後的做法會「比過去來得好」，但不見得就是「最好」。我們只要稍加回憶兒時與父母的相處情形就能明白其中的道理。小時父母為我們做大大小小的決定，有些決定正好是我們屬意的，於是欣然接受。但更多時候父母幫我們做的決定卻不是我們最想要的，於是我們便提出抗議，這時父母便會義正嚴詞地說「這都是為你好」，並且認為只要他的決定是出於「為你好」的善意，我們就「應該」接受這個決定。然而我們都清楚明白，縱使父母無庸置疑地關心著我們，縱使他們做出的決定完全出於考量我們福祉的善意，但只要這個決定不是我們真正想要的，就不能稱之為對我們「最適」的決定；只要這個決定不是我們做為一個獨立生命體主動表達出來的，這決策的過程就仍是「獨裁」的結果。兩者的差別不過是這個獨裁者有多「愛護子民」的程度差異而已，其獨裁的本質並不應福利函數的改變而不同。

另一個類似的例子是大型企業母公司與子公司間的財務關係，這使我們想到幾年前喧騰一時的恩隆弊案。恩隆案利用成立諸多子公司的方式將母公司的虧損認列於其子公司，卻並未在母公司的財報中揭露子公司的盈虧狀況，進而隱藏虧損以欺騙投資大眾及其員工。想像當代人與未來世代亦如同母公司與子公司，而我們開採天然資源所獲得的福利其實是未來世代的虧損，然而我們並未在國民所得帳中揭露對未來世代造成的損害。這也就是為何我們須要編製綠色國民所得帳的原因：真實反映全體人類（包括當代與未來世代）的福利水準。恩隆案讓我們明白得到正確財務資訊的適當做法應是將母公司與子公司的財報獨立公布，而非將子公司視為母公司的附屬以防母公司對其資訊上下其手。同理，為正確反映當代人使用資源對未來世代造成的福利減損，我們也應放棄傳統將未來世代附屬於當代福利函數的做法，使其成為與當代人密切相關卻相互獨立的經濟個體。如此才能真正獲悉當期經濟活動對未來的實際影響程度，進而計算出應認列的綠色經濟折耗。

## 3.2 綠色稅率之估計

接著我們討論在上述的架構下符合永續發展的綠色稅率將如何產生。由第二章的回顧我們知道目前各主要綠色國民所得帳編製系統，如本國採行的 SEEA 系統等，其調整的方式是先給定若干對市場、資源及效用的假設，再依此估計

出當代人使用環境資源的機會成本 (或稱作影子價格), 再由該價格乘上該項資源的使用量, 即得出當年使用該資源所造成的福利減損。而前述估計出來的影子價格亦為理論上應對使用該資源之人或廠商課徵的稅率。本文認為現行之各種編製系統不論期採行的各項假設為何, 皆是完全奠基於當代人對未來的主觀意識而來, 不必然反映出未來世代看待環境資源的真實想法。因此本文試圖建構一套新機制來衡量綠色稅率的大小, 即視未來世代為獨立於當代人的經濟主體, 並賦予其參與當期資源使用與稅率的決策權, 我們認為唯有如此才是真正做到對於未來世代追求福祉之權利的尊重, 也才能如實估計出當代使用資源的機會成本。在模型設定上, 我們令當代人砍伐一單位森林的機會成本為 $p$ , 則 $t$ 期世代的人每砍伐一單位森林就要被課徵 $p_t$ 元的森林稅。因此  $p_t \times R_t$ 便是當期對環境的總資源折耗, 也就是計算綠色國民所得帳時應從國民所得中扣除的數目。我們進一步設想該稅收將專款專用, 以復育森林為唯一目的。

接著我們面臨的問題是 $p_t$ 該如何由當代與未來世代共同決定? 既然在現實上我們無法做到和千秋萬世的子孫面對面協商, 我們可以借用政治哲學家 John Rawls 在《正義理論》中對於「無知之幕 (veil of ignorance)」的想像來解決。在無知之幕的概念下, 我們想像所有世代的人們都處在無知之幕之後, 意即所有人都還沒出生因而不知道自己將降生於哪一個世代。這時讓大家共同決定出一個不管哪一期都相同的森林稅率 $p$ , 並約定好離開無知之幕後不管存活在哪一期都須遵守這個稅率。Rawls認為當所有人都拋開既存的狀態時便能做出對所有人都真正公平的決定, 因為所有人都有可能面臨任何一期可能的資源狀態。我們認為人們在無知之幕後所做的決定必能符合永續發展的精神, 由於時間軸無限遠, 每個人降生在千秋萬世之後的機率皆趨近於1, 因而任何一個會使地球終將毀滅的 $p$ 都必然不會是最適的共同森林稅率<sup>1</sup>, 因此若所有世代的人能在無知之幕後形成對 $p$ 的共識, 記為 $p^*$ , 則在 $p^*$ 之下各代對資源的最適使用量必然不對其未來世代的福祉造成損害, 進而達到永續發展。

然而, 縱使我們知道在無知之幕後決定出的 $p^*$ 必定是考量所有世代福祉的最佳解, 但我們卻沒有充分的理由相信這樣的共識必然存在。倘若人們在無知之幕背後談判破局, 則這樣的機制便無法生效, 永續發展的問題仍未獲得解決。那麼無知之幕的想像在何種情況下最有可能達成共識? 我們認為只要經濟體系

---

<sup>1</sup>地球「自然死亡」的時限應可視為無限大。

透過這套機制的運作能達到恆定狀態，則協商出所有人都能接受的稅率是極爲可能的。假設經濟體在  $T$  期之後達到恆定狀態，無知之幕後的所有人因面對無窮遠的時間軸而有趨近於一的機率將降生在  $T$  期之後。因此他們考量的問題便轉化成：在什麼樣的森林價格下可使經濟體達到恆定狀態後的福祉爲最大。在同質偏好的假設下這樣的想像使無知之幕的所有人成了「生命共同體」，關心著相同的問題並渴望同樣的稅率。因此我們能合理的臆測只要恆定狀態存在，共識便可達成。即使我們實在無法找到這樣的  $p^*$ ，我們也可以考慮另一種更貼近現實的想像：想像爲了維持環境資源的永續，我們透過立憲的方式強制每代人必須讓下一代人決定其砍伐森林應付的稅率  $p$ 。基於世代生存期間相互重疊的事實，這樣的想像是現實可行的。在往後的章節我們將對此兩種情況做進一步得討論。

### 3.3 李嘉圖等值論與不肖子理論

談到跨代資源轉移的政策便不免令人聯想到李嘉圖等值論。廣義的李嘉圖等值論認爲，若政府宣布將對父母課稅並將其稅收移轉給後代，則只要當代人會留遺產給其後代子孫且被課徵的稅小於遺產，這項政策便沒有任何實質效果。其道理在於政府的跨代移轉政策並沒有改變父母與子女的跨期預算限制，而政府只是做了一件父母本來就會做的事情。假若父母原本打算留給小孩 10 元的遺產，卻在父母臨走前便被政府強制拿走了 5 元給小孩。則對父母而言他只要將他的遺產調整爲 5 元，則一切都沒有改變。小孩並沒有因爲政府的德政就變得比較好，父母亦沒有因此受害。因此我們要問，在本文中對父母課徵森林稅並將其稅收移轉給子女進行森林復育是否將如李嘉圖等值論所預言的沒有任何效果呢？答案是否定的。由於森林稅收並不是以「人爲資本  $K$ 」的形式移轉給下一代，而是使「森林資本  $Z$ 」增加。換言之，此項政策將使的父母與子女的跨期資源限制發生改變。人爲資本的累積能力下降，而森林資源得成長率提高。回到上面的例子，父母被課徵的 5 元後並不會如同父母遺產般變成小孩的初始資本，而是變成復育森林的基金。對於父母而言，即使他仍維持留給小孩 10 的決策，其對小孩的福利效果也將改變。況且此政策將使父母做決策面臨的兩條資源限制皆發生改變，故我們可以預期其最適選擇也將發生改變。是故李家圖等值論在本文的模型設定下將不再成立。

另外本文中討論父母與子女互動對資源配置的影響或許也和 Becker(1974) 所提出的「不肖子理論」有些相似。Becker 認為即使子女是完全的自私甚至以傷害其家人為樂，父母亦可透過移產的賜予使不肖子有誘因做出善良的行為。不過讀者須留意本文對親子間互動的設定與 Becker 的設定截然不同。在 Becker 的故事中，子女決定自己的行為，亦即要好吃懶做還是勤奮工作，而父母則依據子女的表現決定家庭資源的分配。此外在他的故事中所有家庭成員賺的錢都須上繳家長，再由家長統籌分配所有的資源。因此縱然子女可以全權決定自己的行為，卻對父母的決定毫無置喙的餘地。子女若要提升自己的福利則勢必得綵衣娛親，依據父母的偏好看行事。而在我們的設定中子女則可以參與父母對跨代資源的決策，真正握有「實權」影響當代決策。簡言之本文的模型著重於將子女視為與父母平起平坐的獨立個體，而非從屬於父母的效用函數。是故本文的分析重點與結果都將與不肖子理論明顯不同。

### 3.4 無知之幕後的最適森林價格

為了明確地分析最適森林價格的性質，我們沿用第一小節的模型設定，並對效用函數與生產函數做更明確的形式。我們假設生產函數與效用函數皆為典型的 Cobb-Douglas 函數，即  $u(C, Z - R) = (1 - \alpha) \log C + \alpha \log(Z - R)$ ， $f(K, R) = K^a R^{1-a}$ ，其中  $\alpha$  衡量人們對森林相對於消費的偏好程度， $a$  為生產函數中的資本份額， $K$  為人為資本存量。此外，每砍一棵樹木便須繳交  $p$  元的森林稅而這些稅收  $p \cdot R$  將做為森林的復育金，因此森林成長率將取決於該金額的多寡，而非固定不變的參數。至此我們可以寫下第 0 世代的極大化問題：

$$\begin{aligned} \max_{I_t, R_t} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ & (1 - \alpha) \log[K_t^a R_t^{1-a} - pR_t - I_t] + \alpha \log[Z_t - R_t] \} \\ \text{s.t. } K_{t+1} = & K_t(1 - \delta) + I_t \\ Z_{t+1} = & (1 + g(pR_t))(Z_t - R_t) \\ Z_0, K_0, R_{-1} = & \text{given.} \end{aligned}$$

其中  $I_t$  為當期投資，故  $[K_t^a R_t^{1-a} - pR_t - I_t]$  表示當期總生產扣除應繳的森林基金再扣除當期投資，即為當期消費。留意上式中的價格  $p$  為在無知之幕背後共同決定出來的價格。此外森林資本移動律中的成長率  $g$  為森林基金  $pR$  的函數。接

著，我們想知道在無知之幕背後，訂定什麼樣的森林價格可以使大家都接受？如前所述，我們可試想假使經濟體系存在恆定狀態，則使得恆定狀態下對每個人福利極大的價格應能成為大家的共識。因此我們先暫時將這個經濟體是否存在恆定狀態又如何達到的問題擱置一旁，暫且把焦點放在假設恆定狀態存在，則我們如何找出大家一致贊同得最適森林價格上。

令  $k_t \equiv K_t/Z_t, r_t \equiv R_t/Z_t, Y_t \equiv K_t^a R_t^{1-a}$ 。亦即  $k_t$  為資本相對於森林的比例， $r_t$  為森林砍伐率，而  $Y_t$  為總產出。故產出與森林之比為  $y_t$  為  $k_t^a r_t^{1-a}$ ，森林移動律和則可改寫為：

$$Z_{t+1} = (1 + g)(1 - r_t)Z_t.$$

又令  $s$  為內生決定的儲蓄率，則毛儲蓄為  $s \cdot (Y_t - pR_t) = s \cdot (K_t^a R_t^{1-a} - pR_t)$ ，消費則為  $(1 - s) \cdot (Y_t - pR_t) = (1 - s) \cdot (K_t^a R_t^{1-a} - pR_t) = c_t$ 。由儲蓄等於投資我們將資本移動律亦可改寫為相對於森林存量  $Z_t$  的形式：

$$\begin{aligned} k_{t+1} &= \frac{K_{t+1}}{Z_{t+1}} = \left( \frac{K_t}{Z_t}(1 - \delta) + \frac{I_t}{Z_t} \right) \cdot \frac{Z_t}{Z_{t+1}} \\ &= \frac{k_t(1 - \delta) + s_t(k_t^a r_t^{1-a} - pr_t)}{(1 + g)(1 - r_t)} \end{aligned} \quad (5)$$

由於森林可自然再生且可能不斷地成長的特性，我們須將恆定狀態定義在各變數與森林存量的比例上。將前述的各項設定代入式 (2) 我們重新寫下第 0 代人的福利函數及其面對的資源限制：

$$\begin{aligned} &\max_{s_t, r_t} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ (1 - \alpha) \log[(1 - s_t)(k_t^a r_t^{1-a} - pr_t)] + \alpha \log[1 - r_t] + \log Z_t \} \\ \text{s.t. } &k_{t+1} = \frac{k_t(1 - \delta) + s_t(k_t^a r_t^{1-a} - pr_t)}{(1 + g)(1 - r_t)} \\ &Z_{t+1} = Z_t(1 + g_t(pr_t))(1 - r_t) \\ &Z_0, k_0, r_{-1} \text{ given.} \end{aligned}$$

假設恆定狀態存在，則尋找使恆定狀態下福利最高的森林價格便等同於求解下列問題：

$$\begin{aligned} & \max_{s,r} \sum_0^{\infty} \beta^t \{ (1-\alpha) \log[(1-s)(k^a r^{1-a} - pr)] + \alpha \log[1-r] \\ & \quad + \log Z_0 + t[\log(1-r) + \log(1+g)] \} \\ \text{s.t. } & [(1+g)(1-r) - (1-\delta)]k = s(k^a r^{1-a} - pr) \end{aligned} \quad (6)$$

留意在上述求解問題中森林稅率 $p$ 為外生給定的參數，並且森林成長率 $g$ 為 $pR$ 的函數。在恆定狀態時每一代人面對不同的森林稅率將選擇不同的儲蓄率與砍伐率 $(s, r)$ 以極大化自身及其後代的福利函數 (2)。因此森林稅率的大小決定了均衡福利水準的高低，而我們試圖尋找一個最適的森林稅率 $p^*$ 使得恆定狀態下的福利極大。

為進一步了解森林稅率對均衡福利造成的影響，我們將 (6) 式的均衡福利 $V$ 對稅率 $p$ 求算一階偏導數：

$$\frac{\partial V}{\partial p} = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \frac{-(1-\alpha)}{c} - \frac{k(1-r)(1-\alpha)g'(pr)}{c} + \frac{tg'(pr)}{1+g(pr)} \right]$$

其中第一項為課稅減少消費而造成的效用減損，第二項為稅率對資本移動律的影響，而第三項則表示稅率對森林成長速度的貢獻。最適森林稅率 $p^*$ 須滿足一階條件，亦即：

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \frac{(1-\alpha)}{c} + \frac{k(1-r)(1-\alpha)g'(p^*r)}{c} \right] = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \frac{tg'(p^*r)}{1+g(p^*r)} \right]$$

左式衡量稅率造成消費減少及改變森林成長率對資本移動律的影響，亦即稅率造成之邊際成本；右式捕捉稅收增加加速森林成長帶來的福利增加，而當稅率造成的邊際成本等於其產生的邊際效益時，該稅率便為使均衡福利極大的最適稅率。

接著我們分析在最適稅率政策之下對森林資源使用的影響。面對最適森林稅率 $p^*$ 人們將選擇極大化福利水準的砍伐率。最適砍伐率決定於 (6) 式對 $r$ 之一階條件：

$$\frac{1-\alpha}{c} \{ (1-a)k^a r^{-a} - p - k[g'p(1-r) - (1+g)] \} + \frac{tg'p}{(1+g)} = \frac{\alpha+t}{(1-r)}$$



左式為砍伐一棵樹木的邊際效益：消費的增加及對未來森林成長的淨貢獻（增加稅收對成長的貢獻扣除對森林存量的減損），右式則為砍伐樹木的邊際成本：少一顆數可以欣賞所導致的效用損失。一般而言課稅的作用在於抑制森林的砍伐，因此直覺上稅率應與砍伐率成負向關係，意即砍伐率的決定式對稅率 $p$ 的偏微應為負。在我們的模型中由於稅率除了增加開採森林的成本外，尚能透過復育金加速森林的成長，使得上式對 $p$ 的偏導數符號未定。但只要成長率的函數 $g(pR)$ 的邊際報酬遞減的速率不致過慢，則稅率 $p$ 仍可達到嚇阻對森林開採的效果。此外，最適稅率的導出也能幫助我們更直接地衡量綠色國民所得帳的調整項。假設現行的環境稅率為 $p_0$ ，則我們可由一階泰勒展開式線性逼近目前福利與理想福利的差距為：

$$\frac{\partial V}{\partial p}(p_0 - p^*) \Big|_{\text{目前狀態}} = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[ \frac{-(1-\alpha)}{c_0} + \frac{tg'(pr)}{1+g(pr)} \right] (p_0 - p^*).$$

此福利損失代表當代人低估環境資源成本所導致的社會損失，故即為編製綠色國民所得帳時應從毛國民所得中扣除的部分。在實際計算上，當期消費量、砍伐率及環境稅率可由實際資料得知，而最適稅率則可透過對各參數及函數的估計求算而得。

回顧上一小節的說明，由恆定狀態所解出的最適稅率對任何一個無知之幕後的人都是極具說服力的，因為儘管個人可能面對不同的初始資源條件，但只要每個人都關心他的後代子孫， $p^*$ 的稅率可極大化任何人在無知之幕後的期望效用，包括自身效用及後代子孫效用的折現加總，且這樣的稅率必能使森林資源在每一代皆受到適當程度的保護而不致損及未來世代追求幸福的權利，故我們可以說這樣的機制解決了因資源過度耗竭而使人類無法永續發展的問題。

然而，眾所皆知任何政策的實際效果皆有「時間不一致」的問題。如前所述， $p^*$ 之所以得以成為共識其理由在於無知之幕後的每個人都將預期自己降生在恆定狀態之後。換言之， $p^*$ 只有當人們設想自己處在恆定狀態之下時才是最適的策略。一旦人們走出了無知之幕降生在某一特定的時代，對他而言的最適稅率將取決於當時的資源狀況，很可能不再是無知之幕背後決定的 $p^*$ 。因此要使最適稅率能真正實現，我們須將無知之幕後所達成的共識透過某種強制的機制來維持，例如透過立憲的方式來保證該稅率將在任何一期皆被執行，如此才能確保尚未降生的世代不會被既存世代所「背叛」。以下我們將舉例說明為何

人們走出無知之幕後會有誘因背離 $p^*$ 。假設人們在無知之幕後所協商出的 $p^*$ 並未受到憲法的保障，且在第0期以前並未為課徵環境稅。在第0期的人們才立憲通過採行 $p^*$ 的政策。但由於沒有得到祖先留下的森林復育金，其面對的資源狀態亦不是給定 $p^*$ 之下的恆定狀態，因此其最適的砍伐率 $r_0$ 便可能高於前述的最適砍伐率。此外縱使無知之幕的想像可以幫助人們估計正確的 $p^*$ ，但人們終究無法真正擺脫我們實際面對的資源狀態。倘若對當代人而言的最適稅率為 $p_t$ ，且 $V_t(k_t, Z_t; p_t)$ 較 $V_t(k_t, Z_t; p^*)$ 高出甚多，則我們很難期待理想的 $p^*$ 能夠成為理性當代人的共識，因此連能否立憲通過都是很大的難題了。

### 3.5 跨代決策的動態過程

本節我們處理第一小節中提到的另一種現實可行的做法：透過  $t$  期與  $t+1$  期的跨代決策解決過度使用環境資源的問題。我們認為要真正考量未來世代的福利，讓未來世代直接參與當代資源配置的決策是最為直接且有效的方式。同時只要能設計出適當的決策機制，我們可以預期經濟體將透過兩代之間的決策過程逐步走向永續的均衡。在此我們要強調我們並不認為未來世代有權與當代協商「所有資源（在本文的模型為 $K$ 和 $Z$ ）」的運用，而僅限於與「環境資源（ $Z$ ）」有關的控制變數（ $R$ 與 $p$ ）。就倫理層面言之，人為資產的累積來自於先人的辛勤努力，子女原本就無權置喙父母要遺留多少遺產供其無償使用。唯既存於宇宙之間的「天然資源」並非來自於任一世代的努力，故理當為所有世代所共享。而涉及永續發展的各種議題，諸如生態平衡、自然資源耗竭及環境質損等之所以為當代人所關心重視也正是基於這個道理。因此本文不涉及任何與人為資本有關的跨代談判，當代人可以自由決定消費與儲蓄而全權掌控人為資本 $K$ 的移動律，僅須讓渡部分對環境資源 $Z$ 的決策權予未來世代。

本節中我們將討論如何透過機制的設計使子女得以在當期的資源決策中扮演重要角色，並以 Stackelberg 之先後賽局為例說明各期的最適資源使用量如何產生。第一小節將以簡單的兩期模型讓讀者更容易理解決策產生的過程，而第二小節則延伸至無窮期的跨代模型並說明在本文選用的機制下存在唯一的長期均衡。

## 3.5.1 簡單兩期模型

爲了在不涉及太多技術細節下清楚地體現跨代決策的過程，我們以最簡單的兩期模型做爲討論的開始。假設降生於第 0 期的世代稱之爲 G0 而其子女稱之爲 G1，子女長大後世界便毀滅，沒有接下來的世代。假設在第 0 期後永續發展才爲人們所關注，而 G0 爲了其子女的幸福決定讓 G1 的人們訂定第 0 期的森林稅，但 G0 仍保有先行決定森林砍伐量  $R_0$  及消費量  $C_0$  的權利。G1 由於沒有下一代，故無須被課徵森林稅。我們想知道在這最簡單的設定下，G1 會決定什麼樣的稅率  $p_0$ ，而父母在讓渡這個權利後是否將改變其原本對消費及砍伐率的選擇。這個設定基本上爲一 Stackelbaerg 的先後賽局 (Leader-follower game)，其中父母爲領導者而子女爲跟隨者。留意對 G1 而言由於沒有下一期，任何留下的資本都是一種浪費，故投資  $I_1$  爲零且將消費掉所有資本存量  $K_1$ 。爲求解父母的最適決策  $(C^*, R^*)$  我們須先考慮子女 (follower) 在給定任一組  $(C_0, R_0)$  下的反應函數。子女面對的問題如下：給定任一組父母選擇的  $(C_0, R_0)$ ，

$$\max_{p_0} V_1(K_0(1 - \delta) + I_0, (Z_0 - R_0)(1 + g(p_0 R_0))).$$

求解上述問題將得出 G1 的反應函數： $p_0(C_0, R_0)$ ，即 G1 面對任一給定的消費與砍伐率下的最適價格。接著回到 G0 (leader) 的問題：給定子女爲其訂定價格的反應函數，求解使  $V_0$  極大的  $(C_0, R_0)$ ：

$$\max_{C_0, R_0} \{u(C_0, R_0) + \beta V_1(K_1, Z_1; p_0)\}$$

在此我們僅是選用一種可行且計算簡單的機制說明如何讓子女在當代的資源決策上發揮其影響力，並不代表這是唯一的方式。例如我們亦可將父母與子女的決策順序對調，變成父母在給定子女先行決定的森林稅率下選擇對其最有力的消費率與砍伐率。其決策的過程將與上述類似，故不再贅述。

## 3.5.2 無窮期跨代模型

在此我們將兩期模型延伸至無窮跨期模型，其他設定則與前一小節無異。我們除了想了解跨代決策下產生的稅率與砍伐率和由當代人全權決定的結果有何差異外，更希望這個機制能使經濟體逐步收斂至一恆定狀態。倘若如此，我們

便可以透過跨代協商達到永續發展的目的，進而將永續發展定義為賦予未來世代對當代資源使用的決策權。

沿用之前的符號，我們將  $t+1$  世代的間接效用函數記為  $V_{t+1}(K_{t+1}, Z_{t+1})$ ，由資本移動律可知  $t+1$  期資源原存量  $(K_{t+1}, Z_{t+1})$  取決於前一期的資源原存量  $(K_t, Z_t)$ 、資源使用量  $C_t, R_t$  及資源稅率  $p_t$ 。而  $C_t, R_t, p_t$  又是在給定  $(K_{t+1}, Z_{t+1})$  下所形成的最適決策，故  $t+1$  期的福利  $V_{t+1}$  亦為  $(K_t, Z_t)$  的函數。因此第  $t+1$  期的間接效用函數  $V_{t+1}(K_t, Z_t)$  顯然與第  $t$  期的間接效用函數  $V_t(K_t, Z_t)$  呈一特定的轉換關係，故我們令作用在  $V_t$  所構成之函數空間的算子 (operator) 為  $\Gamma$ ，令  $x \equiv (C_t, R_t, p_t)$ ， $X$  為  $(K_t, Z_t)$  所形成的空間， $B(X)$  為作用在  $X$  上的有界函數  $f: X \rightarrow \mathfrak{R}$  並以 *sup norm* 為度量形成的度量空間 (metric space)，則跨代談判的動態過程表示為：

$$\begin{aligned} V_t(K_t, Z_t) &= \Gamma(V_{t+1}(\cdot, \cdot)) \\ &= \underset{\{x\}}{M} \left[ u(C; Z) + \beta V_{t+1}(K_{t+1}(x; K_t), Z_{t+1}(x; Z_t)) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

留意上式和我們熟悉的動態過程看來極為類似，但控制變數  $x$  的決定過程卻截然不同。在上式中  $M$  表示兩代進行某種賽局決定  $x$  的過程，而在傳統的設定下， $x$  則由  $t$  世代透過極大化自身福利求得。此處的  $M$  並非指涉任何一種特定的機制，只是將間接效用函數的跨期調整過程由當代人的極大化問題擴充為兩代間的協商過程。我們可以設定各種不同的跨代談判機制，亦即  $M$  可被代換成任何一種跨代協商的模式。如同上一小節，我們僅挑選其中一種機制作為討論的範例。

為了了解上述機制是否存在長期均衡，我們將 (7) 式中代表決策過程的  $M$  代入以上的設定後重新表達如下：

$$\begin{aligned} V_t(K, Z) &= \Gamma(V_{t+1}(\cdot, \cdot)) \\ &= \underset{p}{N} \left\{ \max_{C, R} \left[ u(C, Z - R) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \beta V_{t+1}(K(1 - \delta) + (K^a R^{1-a} - pR - C), (Z - R)(1 + g(pR))) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $N$  表示子女的決策過程，故上式表示子女可決定森林稅率  $p_t$ ，而在這之前父母可先決定當期的消費量 (儲蓄率) 與砍伐量。接下來我們檢驗這樣的動態

過程是否會收斂到一恆定狀態，亦即檢驗 (8) 式中作用在  $V_t$  上的算子  $\Gamma$  是否滿足 Blackwell 所提收縮映射之充分條件。首先我們檢驗若子女的效用函數發生改變使得  $V_{t+1}$  在給定任何條件下皆上升，則經過  $\Gamma$  的運算後是否使其父母的效用  $V_t$  也因而上升。

令  $V_{t+1}$  上升前的所有決策為  $x = (C, R, p)$ ，其對應的期末資原存量為  $(K_{t+1}, Z_{t+1})$ 。  $V_{t+1}$  上升後記為  $V'_{t+1}$ ，所對應的新決策及期末資原存量分別記為  $x' = (c', R'p')$  與  $(K'_{t+1}, Z'_{t+1})$ 。因  $V_t = u_t + \beta V_{t+1}$ ，令  $V_{t+1}$  上升前的所有決策為  $x = (C, R, p)$ ，其對應的期末資原存量為  $(K_{t+1}, Z_{t+1})$ 。  $V_{t+1}$  上升後記為  $V'_{t+1}$ ，所對應的新決策及期末資原存量分別記為  $x' = (c', R'p')$  與  $(K'_{t+1}, Z'_{t+1})$ 。因  $V_t = u_t + \beta V_{t+1}$ ，考慮  $V_{t+1}$  上升至  $V'_{t+1}$ 。此時如果父母選擇原本的消費量  $C$  及砍伐量  $R$ ，則可維持其效用水準  $u(C, Z-R)$  不受影響。又  $V'_t = u(C, Z-R) + \beta V'_{t+1}(K'_{t+1}, Z'_{t+1})$ ，故倘若在此情況下  $V'_t$  下降必然是由於  $V'_{t+1}(K'_{t+1}, Z'_{t+1})$  下降。如此則表示  $V_{t+1}$  上升將使  $V_t$  與  $V_{t+1}$  均下降，但此時子女只要選擇原本的價格便可達到比以往更高的福利水準，故倘若子女在父母未改變決策下改變了價格則必然是因為新的價格將使子女的福利更高。由此可知只要父母維持原本的消費決策便可保證其福利水準不至下降。此外，父母是以極大化  $V_t$  在選擇消費  $C$  和砍伐量  $R$ ，故既然我們已經找到一組  $(C, R)$  可使  $V'_t \geq V_t$ ，便可得到  $V'_t(C') \geq V'_t(C) \geq V_t(C)$ 。故  $V_{t+1}$  上升必然使  $V_t$  隨之上升。換言之，我們由以上論證得出：

**輔助定理 1:** 運算子  $\Gamma$  作用在  $V$  所形成之函數空間上具有單調性。

接著我們將說明  $\Gamma$  亦具有收縮 (discounting) 的性質。考慮  $V_{t+1}$  水平上移 1 單位，則子女面對的問題為

$$\max_p V_{t+1} + 1, C, R \text{ given}$$

可知其反應函數  $p(C, R)$  並不因而改變。此時父母面對相同的反應函數，而目標函數變為  $V_t + \beta \cdot 1$ ，故最適選擇  $(C, R)$  亦不受影響。因此在最適選擇均不變的情況下， $V_t$  將上升  $\beta$  單位，亦即：

**輔助定理 2:** 運算子  $\Gamma$  作用在  $V$  所形成之函數空間上具有收縮性

有了上述兩個定理，我們便可應用 Blackwell 所提收縮映射之充分條件說

明跨代談判的動態過程將逐步收斂至唯一的恆定狀態。

綜合本章所述，我們提出了兩種不同的機制引入未來世代在當期的決策權。一為無知之幕的想像，另一則為父母與子女進行先後賽局決定當期資源配置。不同的決策方式將決定不同的恆定狀態。我們試圖了解不同的機制所對應的長期均衡有何異同，而這些機制的均衡狀態是否會比未引入資源價格的均衡狀態來的更令人滿意。我們透過數學的求解及數值方法的模擬得出不同機制下的均衡性質，在下一章呈現各項模擬的結果。



## 第 4 章

### 模擬結果

#### 4.1 無知之幕後的最適森林價格

在 3.4 節中我們介紹了無知之幕背後最適森林價格的決定過程。我們假設恆定狀態存在且無法預知自己將降生在哪一個世代，則人們將預期自己降生在恆定狀態之下。由於訂定不同的森林價格將決定不同的恆定狀態，故人們應無異議地同意以使恆定狀態福利最高之森林價格做為法定森林價格。為了解引入最適森林價格的機制是否確實提高社會福利，及不同的參數設定將對最適價格有怎樣的影響。我們以數學軟體 maple 求解給定不同森林價格下的恆定狀態，而恆定狀態須滿足之最適條件如 3.4 節所述。我們可解出各均衡變數  $(r, s, k)$  對應各參數  $(\alpha, \beta, \delta, a, g)$  之封閉解 (closed form solutions)，但由於其函數形式太過複雜，且均衡條件代表之經濟意義已於 3.4 節中闡述，故我們僅以表列出給定各參數值所得之均衡變數值。在同一組參數條件下，我們分別計算在森林價格 0, 0.1, 0.2... 至 1 下的所有恆定狀態，再找出使社會福利最大的價格，以此做為最適森林價格之近似值。在下表中我們呈現不同參數條件下的最適森林價格及其所對應的均衡變數與福利。同時我們亦求出沒有森林價格下恆定狀態的均衡變數與福利，以比較引入無知之幕後決定價格的機制是否得以提升人類長期的福利水準。無知之幕下恆定狀態的決定見 3.4 節之說明，在此我們寫下

未引入森林價格下的極大化問題：

$$\begin{aligned} & \max_{s_t, r_t} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ (1 - \alpha) \log(1 - s_t) k_t^a r_t^{1-a} + \alpha \log[1 - r_t] + \log Z_t \} \\ \text{s.t. } & k_{t+1} = \frac{k_t(1 - \delta) + s_t k_t^a r_t^{1-a}}{(1 + g)(1 - r_t)} \\ & Z_{t+1} = Z_t(1 + g)(1 - r_t) \\ & Z_0, k_0, r_{-1} g \text{ given.} \end{aligned} \quad (*)$$

在本章所有的模擬及求解中，我們對參數的設定皆以  $\alpha = 0.5, \beta = 0.8, \delta = 0.5, a = 0.5$  做為比較靜態的基準。其中  $\alpha = 0.5$  表示人們對環境與消費同等重視； $\beta = 0.8$  及  $\delta = 0.5$  相較於一般文獻偏低許多，但讀者須留意此處的一期指的是一個世代（約 25 年）而非一年。至於生產函數中人為資本與自然資本的相對份額在缺乏實證估計，我們假設其對生產的貢獻不相上下，亦即  $a = 0.5$ 。

值得注意的是，引入森林價格與復育金的均衡性質將與森林成長率函數  $g(pr)$  的設定息息相關<sup>1</sup>，然而究竟怎樣的函數才能正確衡量投入復育資金與森林成長的關係卻不得而知。在此我們有的線索只有「邊際報酬遞減法則」。因此我們將成長率  $g : \mathfrak{R}^+ \rightarrow \mathfrak{R}$  設定為一非負的凹函數，亦即投入資金越多成長率越高，但其邊際報酬遞減。在上表中我們設定森林的自然成長率為 0.1，而為求解方便，森林基金對森林成長率的貢獻則設定為  $0.5\sqrt{pr}$ 。因此在沒有森林價格下森林將以 0.1 的速度自然增加，而引入森林價格後森林的成長率應等於其自然生長率加上復育金的貢獻，亦即：

$$g = 0.1 + 0.5\sqrt{pr}.$$

在比較靜態上我們主要關注的是人們對環境品質與消費的相對偏好  $\alpha$  及對後代的重視程度  $\beta$ 。表中對應每組參數設定皆有兩排數據，其中上排表示無知之幕背後所決定出之最適價格及該價格下所對應的各均衡變數值；而下排則呈現未引入森林價格下（即價格設定為 0）的均衡變數值。

<sup>1</sup>見 3.4 節中  $\frac{\partial V}{\partial p}$  及  $\frac{\partial V}{\partial r}$  兩式。



表 4.1: 無知之幕後的最適價格與未引入森林價格之比較

		$p^*$	$r^*$	$c^*$	$g^*$	$dZ/Z$	
$\beta = 0.8$	$\alpha = 0.4$	0.20	0.21	0.08	0.20	0.95	
		0.00	0.23	0.17	0.10	0.84	
	$\alpha = 0.5$	0.30	0.18	0.06	0.22	0.99	
		0.00	0.28	0.23	0.10	0.80	
	$\alpha = 0.6$	0.40	0.16	0.06	0.23	1.03	
		0.00	0.23	0.17	0.10	0.84	
	$\alpha = 0.7$	0.50	0.13	0.02	0.23	1.07	
		0.00	0.25	0.19	0.10	0.83	
	$\alpha = 0.8$	0.60	0.11	0.01	0.23	1.10	
		0.00	0.24	0.18	0.10	0.84	
	$\alpha = 0.5$	$\beta = 0.7$	0.20	0.27	0.12	0.22	0.89
			0.00	0.26	0.21	0.10	0.81
		$\beta = 0.8$	0.30	0.18	0.06	0.22	0.99
			0.00	0.28	0.23	0.10	0.80
$\beta = 0.9$		0.60	0.13	0.02	0.24	1.08	
		0.00	0.25	0.19	0.10	0.82	

\* 上表中其他參數設定為  $a = 0.5$ ,  $\delta = 0.5$  及森林自然成長率 0.1。

首先觀察不同參數設定下無知之幕後協商出的均衡狀態性質：隨著  $\alpha$  及  $\beta$  的增加，亦即當人們越重視環境品質及後代子孫的效用時，便會協商出較高的最適價格，且其對應的砍伐率與消費率皆隨之下降，而森林成長率則增加。至於未引入森林價格的均衡砍伐率、消費率及森林成長率則看不出與參數間的特定關係。此外在任何一組參數條件下與未引入森林價格相較，透過無知之幕後最適價格的訂定皆使得森林砍伐率降低，而森林成長率增加。

值得特別注意的是：在森林自然成長率設為 0.1 之下，未引入森林價格的經濟體雖然存在一相對於森林存量的恆定狀態，亦即可解出均衡之  $(k, r, s)$ ，但留意在上表中所列之所有參數設定下，其森林成長率  $(1 + 0.1)(1 - r^*) - 1$  皆小

於 0。亦即縱然資本-森林比  $k$  有一恆定狀態，但此恆定狀態是無法永續的，隨著森林資源逐漸遞減，經濟體終將瓦解。我們同時計算出未引入森林價格的經濟體在基準的參數設定下 ( $\alpha = 0.5, \beta = 0.8$ )，森林之自然成長率須大於 0.5 方能使經濟體在無任何機制的干預下自然成長，並達到可永續的恆定狀態，但 0.5 的自然成長率即使以 25 年為一期來看似乎仍過於不切實際。

自然成長率為 0.1 對於引入森林價格的經濟體而言亦非在表中所有參數設定下皆能永續發展。在  $\beta = 0.8$  下  $\alpha$  須大於 0.5，而當  $\alpha$  設定為 0.5 時  $\beta$  須大於 0.8 方能維持森林資源成長率為正。在基準參數的設定下，自然成長率只要不小於 0.11 便可使經濟體在復育金的運作下達到永續發展。

我們知道無論哪一種機制，恆定狀態都是定義在資本-森林比上，即平衡成長路徑，故上表中的均衡變數與起始森林存量無關。但由於福利水準與森林存量大小有關，故均衡福利為起始森林存量  $Z_0$  的函數。在自然森林成長率為 0.1 時<sup>2</sup>，在大部分的參數設定下未引入價格的均衡福利均會高於引入價格後的均衡福利。圖 4.1 顯示  $\alpha = 0.6, \beta = 0.8$  的均衡福利。

由圖可看出  $p = 0$  的福利函數完全在  $p^* = 0.4$  之上方，代表不管森林初始存量是多少，未引入價格之均衡福利皆高於引入價格後。但如前所述，在上述的設定下未引入價格的均衡是無法永續的，縱然對於當代人的均衡福利較高，但由於森林成長率為負，故此較高的福利是以犧牲後代福利換來的結果。相反地，引入價格的福利雖然較低，卻得以永續發展，亦即每一個世代皆能獲得不低於此水準的福利。

此外，當  $\alpha$  或  $\beta$  很大時，引入價格的福利將會超越未引入價格的水準。圖 4.2 及 4.3 分別顯示  $\alpha = 0.7, \beta = 0.8$  與  $\alpha = 0.5, \beta = 0.9$  的均衡福利：

當人們極端重視環境品質或未來世代的福利時，引入森林價格非但能使原本無法永續的經濟體達到永續發展的目的，還能提升長期均衡的福利水準。

<sup>2</sup>由於提高自然成長率並不會改變是否引入森林價格之均衡福利的相對大小，加以若要在兩種機制都能永續的情況下相比較，須把自然成長率設為 0.5，但這個設定太不合理，因此這裡仍然呈現自然成長率為 0.1 下的福利大小關係。

## 4.2 跨代決策的長期均衡

我們以 Matlab 軟體對 3.5 節所述 Stackelberg 先後賽局的收斂過程進行數值方法的模擬。其中各參數及森林成長率的設定皆如前一小節所述，而各組參數對應的均衡結果如下表：

表 4.2: 跨代決策的長期均衡

		$r^*$	$p^*$	$c^*$	$g^*$	$dZ/Z$
$\beta = 0.8$	$\alpha = 0.4$	0.10	0.04	0.04	0.13	1.02
	$\alpha = 0.5$	0.08	0.04	0.04	0.13	1.04
	$\alpha = 0.6$	0.07	0.05	0.04	0.13	1.05
	$\alpha = 0.8$	0.06	0.02	0.01	0.12	1.05
$\alpha = 0.5$	$\beta = 0.7$	0.11	0.06	0.05	0.14	1.02
	$\beta = 0.8$	0.08	0.04	0.04	0.13	1.04
	$\beta = 0.9$	0.06	0.09	0.03	0.14	1.07

\* 上表中其他參數設定為  $a = 0.5$ ,  $\delta = 0.5$  及森林自然成長率 0.1。

由表中可看出，當其他參數固定不變時， $\alpha$  與  $\beta$  的增加將使砍伐率  $r$  下降。此結果相當符合經濟直覺的預期：當人們越關心後代的福利或越重視環境品質時，自然比較願意犧牲自身的消費以留下更多環境資源予厚代使用，因而選擇較低的砍伐率。至於森林價格由於其扮演的角色較為複雜，除了影響人為資本與自然資本的替代關係外，尚與砍伐率相互影響，故看不出與參數間的明確關係。但若我們將砍伐率與價格一併考慮，亦即同時觀察人們對復育金及砍伐率的選擇，即可計算出均衡時森林資源的成長率  $dZ/Z = (1 + g)(1 - r)$ 。由表中可知，當  $\alpha$  及  $\beta$  較高時其對應的均衡森林成長率亦較高。

與訂定無知之幕後最適價格的機制相較，跨代決策所決定出的均衡價格與砍伐率都低上許多。就經濟直觀而言，我們可以想像由於引入跨代決策後森林成長率大幅提升，森林存量變多了，砍伐樹木的機會成本亦大幅降低。而在  $\alpha$  與  $\beta$  較低時跨代決策可大幅提高森林成長率，反之則無知之幕後決定出的成長率略高一些。此外在所有參數設定下，圖 4.4-4.5 顯示跨代決策在不同參數下的福利水

準，與圖 4.1-4.3 相較可發現跨代決策的福利與最適價格下的福利相比略低一點。事實上在所有參數設定下跨代決策的均衡福利均較低，但相差幅度甚小。

特別留意到當經濟體加入跨代決策的機制後，表中所有的參數條件下皆能達到永續發展，即使面對較低的 $\alpha$ 與 $\beta$ 亦然。可見縱然當代人可能不具環保意識或不甚在乎未來世代的效用水準，但只要下一代可以透握適當的機制影響當代人的資源決策，仍可達到永續發展的目的。



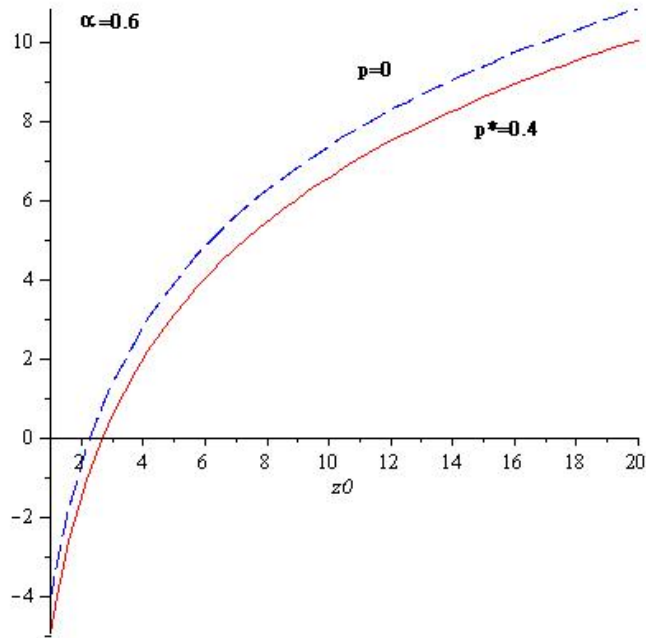


圖 4.1:  $\alpha = 0.6$ 下的均衡福利

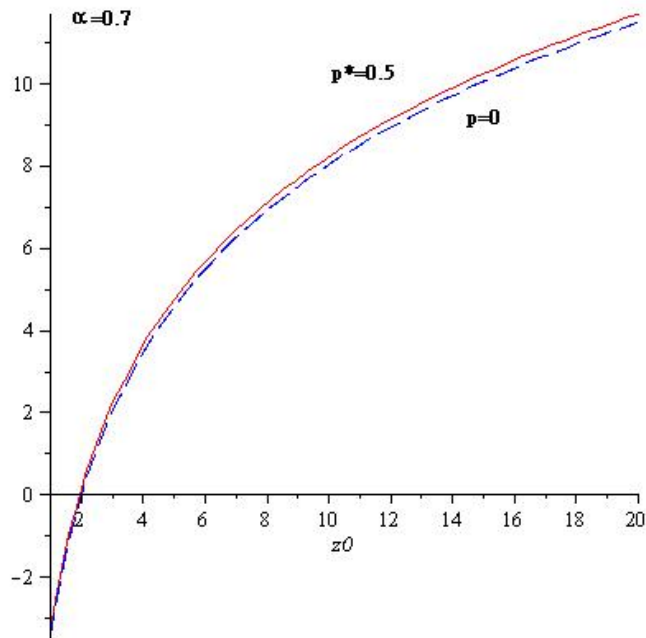


圖 4.2:  $\alpha = 0.7$ 下的均衡福利

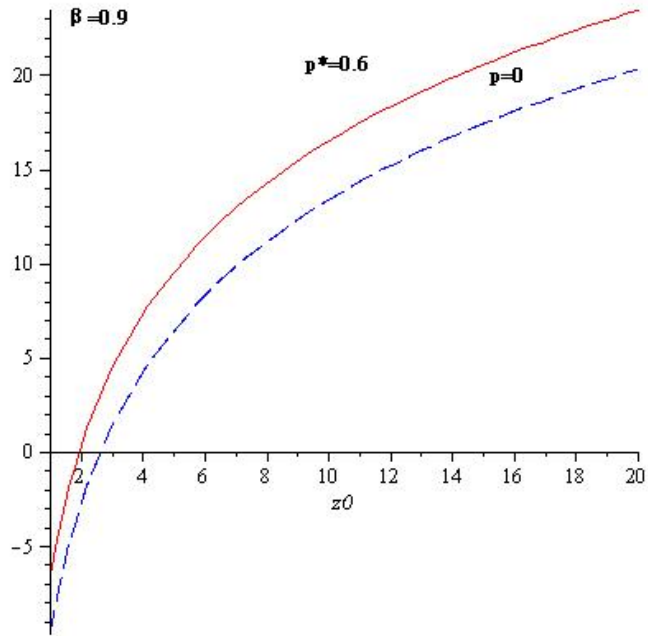


圖 4.3:  $\beta = 0.9$  下的均衡福利。

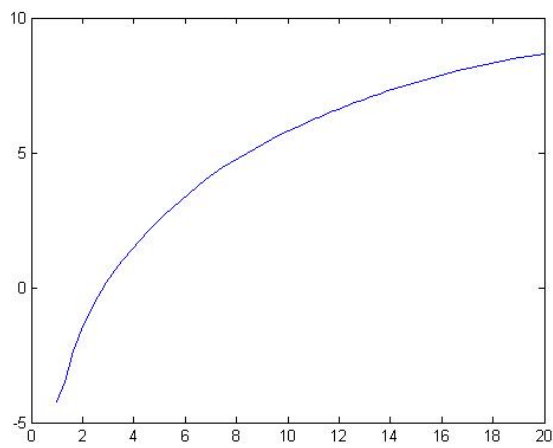


圖 4.4:  $\alpha = 0.6$  時跨代決策的均衡福利

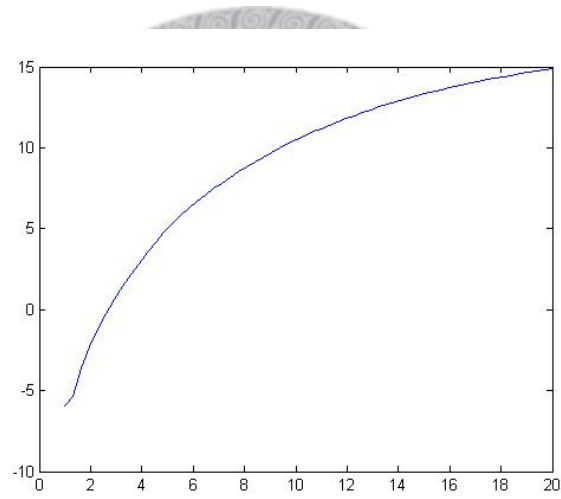


圖 4.5:  $\beta = 0.9$ 時跨代決策的均衡福利

## 第 5 章

### 結語

本文試圖為日益重要卻仍意見分歧的永續發展議題提供新的詮釋：我們認為永續發展的主要精神在於對未來世代的重視。而為使模型正確反映此點不必然須強制時間偏好系數 $\beta$ 為1 或對折現加總的福利函數做修正。畢竟「貴近賤遠」乃人之常情，且每一代自行選用不同的參數以反映其真正的主觀偏好亦是其應有的權利。因此我們認為一更直接而合理的做法應是直接邀請未來世代的人參與當代的決策，方能更正確的估計當代人使用天然資源對其未來世代所造成的成本與效益，此外我們也不再須要透過各種過於主觀與任意的假設來估計綠色國民所得。透過模型的設定配合數值方法的模擬，我們證明當天然資源的自然再生率偏低時，引入未來世代決策權，無論是無知之幕的想像或是跨期的先後賽局，皆能大幅提高森林資源的成長率，使原本無法永續的經濟體自然達成永續發展。此外當環保意識逐漸抬頭而使人們的偏好中對環境品質更加重視，或是人們對子女的利他偏好更為強烈時，與未來世代共同決定當期資源的利用非但能使經濟永續發展，更能達到比當期人全權決定下更高的長期福利水準。



## 參考文獻

- 洪志銘、蕭代基 (1993), (綠色國民所得帳環境資源折耗編算之評析), 《主計月刊》, 565, 55-61,
- 蔣本基 (1993), (環保沿革與綠色國民所得帳編算之演變), 《主計月刊》, 565, 25-31,
- Becker, G. S. (1974). "A Theory of Social Interactions." *Journal of Political Economy*, 82, 1063-1093.
- Beltratti, A., Chichilnisky, G., and G. M. Heal (1995). "The Green Golden Rule." *Economics Letters*, 49, 175-179.
- Bergstrom, T. C. (1989), "A Fresh Look at the Rotten Kid Theorem— and Other Household Mysteries." *Journal of Political Economy*, 97, 1138-1159.
- Cairns, R. D. (2001), "Seeing the trees as a forest: what counts in green accounting." *Ecological Economics*, 36, 61-69.
- Chichilnisky, G. (1993). "What is sustainable development?" Paper presented at Stanford Institute for Theoretical Economics. Published as *Chichilnisky* (1996).
- Daly, H. E. (1990). "Toward Some Operational Principles of Sustainable Development ." *Ecological Economics*, 2, 1-6.
- Dasgupta, P., B. Kristorm and K.G. Maler (1995). "Current Issues in Resource Accounting" In Johansson, P.O., B. Kristrom and K.G. Maler (eds), *Current Issues in Environmental Economics*, Manchester University Press, Manchester and New York.

- El Serafy, S. (1996). "Green accounting and economic policy." *Ecological Economics*, 21, 217-229.
- El Serafy, S. (1989). "The Proper Calculation of Income from Depletable Natural Resources." in Ahmad, Y. J., S. El Serafy and E. Lutz (eds)(1989), *Environmental Accounting for Sustainable Development*, Washington DC, World Bank.
- Heal, G. (2005). "Intertemporal Welfare Economics and the Environment." in *Handbook of Environmental Economics*, Vol. 3, Ch. 21, 1105-1165.
- Heal, G.M. (1998). *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability*, Columbia Univ. Press, USA.
- Hicks, J. R. (1946). *Value and Capital*, Oxford: Oxford University Press. p.172
- Hamilton, K. (1994). "Green adjustments to GDP." *Resources Policy*, 20:3, 155-168.
- Jabareen, Y. (2006). "A new conceptual framework for sustainable development." *Environ Dev Sustain*, 10,179-192.
- Mebratu, D. (1998). "Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review." *ENVIRON IMPACT ASSES REV*, 18, 493-520.
- Pearce, D. W. and G. D. Atkinson (1993), "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability." *Ecological Economics*, 8, 103- 108.
- Repetto R. et al. (1989). *Wasting Assets: Natural Resources in the National Income Accounts*, Washington, D.C.: World Resource Institute.
- Victor, P. A. (1991). "Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory." *Ecological Economics*, 4. 191-213.

參考文獻

von Weizäcker, C. C. (1967). "Lemmas for a theory of approximately optimal growth." *Review of Economic Studies*, 143-151.

